

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

11 N° de publication :

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 712 978

21 N° d'enregistrement national :

93 14063

51 Int Cl<sup>6</sup> : G 01 J 9/02 , G 02 B 27/46 , G 01 M 11/00

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 24.11.93.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 02.06.95 Bulletin 95/22.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET  
DE RECHERCHES AEROSPATIALES Etablissement  
Public de l'Etat — FR.

72 Inventeur(s) : Primot Jérôme et Sogno Ludovic.

73 Titulaire(s) :

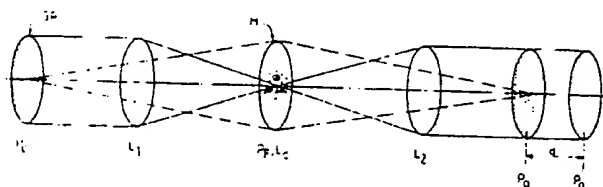
74 Mandataire : Cabinet Netter.

54 Interféromètre optique achromatique, du type à décalage trilatéral.

57 Dans l'interféromètre proposé, une optique d'entrée  
définit un plan de référence ( $P_r$ ), optiquement conjugué du  
plan dans lequel est analysée la surface d'onde d'un fais-  
ceau de lumière.

Un réseau maillé bi-dimensionnel (GR) est placé dans ce  
plan de référence ( $P_r$ ), perpendiculairement au faisceau.  
Les différents sous-faisceaux, dus aux différents ordres de  
diffraction, sont focalisés conjointement par une première  
optique ( $L_1$ ) en un plan focal intermédiaire ( $P_p$ ), au voi-  
sinage duquel un masque (M) sélectionne parmi les sous-  
faisceaux, ceux qui relèvent d'au moins trois ordres de  
diffraction distincts. Une seconde optique ( $L_2$ ) amène les  
sous-faisceaux sélectionnés à un plan ( $P_o$ ), dit de sensibi-  
lité nulle, conjugué du plan du réseau.

L'image d'interférence est observée dans un plan de tra-  
vail ( $P_\lambda$ ), situé à distance choisie ( $d$ ) du plan de sensibilité  
nulle.



FR 2 712 978 - A1



Interféromètre optique achromatique, du type à décalage trilatéral

5

L'invention est destinée à l'analyse de la surface d'onde d'un faisceau de lumière.

10

Ce type d'analyse permet le contrôle des éléments optiques, ainsi que la qualification des appareils optiques. Il permet aussi l'étude de phénomènes physiques non directement mesurables, tels que les variations d'indice optique au sein de milieux turbulents que l'on peut rencontrer à la traversée de l'atmosphère terrestre, ou bien dans une veine de soufflerie, par exemple.

15

20

On connaît l'analyseur dit de "Hartmann-Shack", décrit dans "Phase measurements systems for adaptative optics", J.C. WYANT, AGARD Conf. Proc., No 300, 1981. Le principe général de fonctionnement consiste à conjuguer optiquement le défaut de phase à analyser avec une grille de micro-lentilles. Dans le plan commun des foyers des micro-lentilles, on observe un interférogramme constitué par un réseau de taches déformé suivant les gradients de la surface d'onde.

25

30

Ce type d'analyseur de surface d'onde a l'avantage de fonctionner en lumière polychromatique, sous réserve que le défaut de différence de marche à détecter ne dépende pas de la longueur d'onde. Le rendement lumineux est très bon; par contre, la sensibilité et la dynamique ne sont réglables qu'en changeant la grille de micro-lentilles.

35

40

Dans sa Demande de brevet européen EP-A-0538126, le Demandeur a décrit un interféromètre à décalage trilatéral. Par un montage à base de miroirs, on subdivise optiquement, dans un plan conjugué du défaut, le faisceau à analyser en trois sous-faisceaux. Un traitement optique particulier des trois sous-faisceaux ainsi obtenus permet d'observer un interférogramme qui est sensible aux gradients de la surface d'onde, et ce avec une possibilité d'ajustement continu de la dynami-

que et de la sensibilité. Il est également possible d'estimer l'erreur sur la mesure à partir de la mesure elle-même; enfin, le système de franges d'interférences obtenu est facile à interpréter, et particulièrement adapté à des techniques d'analyse basées sur des transformations de Fourier. Par contre, cet appareil ne fonctionne qu'en lumière monochromatique, et son rendement lumineux n'est pas aussi élevé que celui de l'analyseur de Hartmann-Shack.

10 Il paraît donc vivement souhaitable d'avoir un interféromètre possédant à la fois la souplesse de réglage de l'interféromètre à décalage trilatéral de EP-A-0538126, et le rendement lumineux de l'analyseur de Hartmann-Shack.

15 La présente invention a pour but d'apporter un progrès en ce sens.

L'invention peut être considérée sous forme de procédé ou de dispositif.

20

Le procédé proposé est du type dans lequel :

a) on place un réseau de diffraction à maillage bidimensionnel dans un plan perpendiculaire au faisceau de lumière à analyser, et optiquement conjugué du plan d'analyse de la surface d'onde considérée, ce qui provoque une diffraction du faisceau en différents sous-faisceaux, dus aux différents ordres de diffraction, et

30 b) on crée et on observe dans un plan une image formée par l'interférence des sous-faisceaux, image dont les déformations sont liées au gradient de la surface d'onde analysée.

Ce qui précède relève d'une interprétation du fonctionnement d'un analyseur du type Hartmann-Shack. Cette interprétation, qui ne correspond pas à la description classique de cet analyseur a été esquissée dans la publication "Variations on a Hartman theme", F. RODDIER, SPIE, TUXON, 1990.

Selon un aspect de l'invention, l'opération b) comprend :

b1) la focalisation conjointe des sous-faisceaux issus du plan du réseau, en un plan focal dit "intermédiaire",

5

b2) au voisinage de ce plan focal, le filtrage des sous-faisceaux par un masque propre à y sélectionner au moins trois ordres de diffraction distincts,

10 b3) la reprise optique des sous-faisceaux sélectionnés, pour les amener à un plan, dit "de sensibilité nulle", conjugué du plan du réseau, et

15 b4) l'observation de l'image d'interférence dans un plan de travail, situé à distance choisie du plan de sensibilité nulle.

Ceci permet un fonctionnement en lumière polychromatique. En ajustant la distance entre le plan de travail et le plan de sensibilité nulle, on règle continûment la sensibilité et la dynamique de l'appareil.

20 Les trois sous-faisceaux extraits possèdent des intensités de préférence semblables, et des impacts non alignés dans le plan focal intermédiaire, avantageusement des impacts placés aux sommets d'un triangle équilatéral.

Ceci peut être réalisé à l'aide de réseaux de diffraction à maillage hexagonal ou rectangulaire. Ils définissent respectivement, dans le plan focal intermédiaire, un maillage réciproque hexagonal régulier ou rectangulaire; ce maillage réciproque est la base de ce qu'on appelle ici les différents ordres de diffraction. Le motif élémentaire de maille du réseau de diffraction est défini pour obtenir trois ordres de diffraction, d'intensités proches, situés à trois des sommets d'un hexagone du maillage réciproque, définissant un triangle équilatéral.

Le masque de filtrage placé au plan focal peut être soit transparent, soit réfléchissant, soit une combinaison de ces deux modes.

- 5 L'invention propose aussi un réseau de diffraction nouveau, qui est particulièrement avantageux.

Elle couvre également les dispositifs susceptibles de permettre la mise en oeuvre du procédé proposé. Un tel  
10 dispositif est du type comprenant :

- une optique d'entrée, conjuguant un plan de référence avec le plan dans lequel est analysée la surface d'onde,
- 15 - un réseau à maillage bidimensionnel, placé dans ce plan de référence, perpendiculairement au faisceau, ce qui provoque une diffraction du faisceau en différents sous-faisceaux dus aux différents ordres de diffraction, et
- 20 - des moyens de traitement optique et d'observation de l'image formée par l'interférence des sous-faisceaux, image dont les déformations sont liées au gradient de la surface d'onde analysée.
- 25 Selon l'invention, les moyens de traitement optique et d'observation comprennent :
- une première optique pour focaliser conjointement les sous-faisceaux issus du plan du réseau en un plan focal dit  
30 "intermédiaire",
- dans ce plan focal ou à proximité, un masque propre à sélectionner parmi les sous-faisceaux, ceux qui proviennent d'au moins trois ordres de diffraction distincts,
- 35 - une seconde optique pour amener les sous-faisceaux sélectionnés jusqu'à un plan, dit "de sensibilité nulle", conjugué du plan du réseau, et

- des moyens d'observation de l'image d'interférence dans un plan de travail, situé à distance choisie du plan de sensibilité nulle.

5 Bien entendu, le dispositif est susceptible des aménagements prévus à propos du procédé.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après,  
10 et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est le schéma optique de principe d'un dispositif permettant la mise en oeuvre de l'invention;

15 - la figure 1A est une vue partielle en perspective du même dispositif;

- les figures 2A à 2F présentent un maillage plan, la maille élémentaire et la constitution d'un réseau de diffraction  
20 bidimensionnel;

- la figure 3A illustre un maillage et son maillage réciproque;

25 - les figures 3B et 3C illustrent des maillages hexagonaux et rectangulaires, et leurs maillages réciproques respectifs;

- les figures 4A à 4C sont des schémas explicatifs permettant de mieux comprendre l'invention;

30 - les figures 5 et 5A sont deux illustrations correspondantes permettant de mieux comprendre le fonctionnement du masque selon la présente invention;

35 - la figure 6 illustre une variante du masque;

- la figure 7 illustre une variante correspondante du dispositif selon l'invention;

- les figures 8A à 8C illustrent d'autres types de réseaux bidimensionnels utilisables selon l'invention;

5 - les figures 9A et 9B illustrent une variante préférentielle respectivement du motif élémentaire et du réseau selon l'invention; et

10 - les figures 10A et 10B illustrent un réseau particulier et l'interférogramme obtenu selon l'invention.

15 Les dessins annexés sont, pour l'essentiel, de caractère certain. Ils font donc partie intégrante de la description, et pourront non seulement servir à mieux faire comprendre celle-ci, mais aussi contribuer à la définition de l'invention, le cas échéant.

20 Sur la figure 1, une source de lumière S est placée au foyer d'une lentille collimatrice  $O_1$ . Contrairement à ce qui était le cas avec la Demande de brevet antérieure EP-A-0538126, la source de lumière S n'a pas besoin d'être monochromatique.

25 Le faisceau de lumière parallèle issu de la lentille  $O_1$  illumine un échantillon à tester, qui est représenté schématiquement comme une lame à faces parallèles LA, placée dans le plan  $P_0$ , et présentant un défaut de planéité  $D_1$ . Bien entendu, l'échantillon peut être tout autre système optique (une lentille ou un miroir, en particulier un miroir de télescope), ou même simplement une zone d'un milieu gazeux ou liquide qui serait perturbé par un écoulement par exemple.

30 Ensuite, on utilise de préférence un système afocal constitué par exemple de deux lentilles  $O_2$  et  $O_4$ , avec en position intermédiaire une lentille de champ  $O_3$ . Ce système afocal a pour fonction de créer, dans un plan  $P_c$ , une image du plan  $P_0$ .  
35 D'autres moyens réalisant une conjugaison optique entre ces deux plans peuvent convenir.

Le but visé est de réaliser une adaptation du diamètre du faisceau, entre les plans  $P_0$  et  $P_c$ .

La suite du montage est illustrée de façon plus détaillée, en semi-perspective, sur la figure 1A.

Dans le plan  $P_c$ , on place un réseau GR, décrit plus loin.

5

Le montage comprend ensuite un système afocal, constitué des lentilles  $L_1$  et  $L_2$ , avec de préférence une lentille de champ  $L_1$ , placée au voisinage du plan de focalisation  $P_f$  de la lentille  $L_1$ . Au voisinage de ce plan de focalisation  $P_f$ , et  
10 préférentiellement dans ce plan  $P_f$ , se trouve un masque  $M$  décrit lui aussi plus loin.

Ce système afocal crée un plan  $P_0$ , dit plan de sensibilité nulle, conjugué du plan  $P_c$ . Selon l'invention, l'observation  
15 de l'image d'interférence est réalisée dans un plan  $P_s$ , situé à distance choisie  $d$  du plan  $P_s$ .

Les figures 2A à 2F présentent un réseau bidimensionnel (GR) et son mode de constitution. Un maillage plan (MP) est  
20 constitué par un ensemble de points disposés régulièrement suivant deux directions (Figure 2A). Ces points définissent une maille élémentaire (ME, figure 2B). La maille élémentaire est la plus petite surface permettant de réaliser un pavage non lacunaire (PNL) du plan de maillage selon les deux  
25 directions qui le définissent (Figure 2C). Le périmètre de la maille élémentaire est le polygone de surface minimale dont les côtés sont supportés par les médiatrices des segments reliant un point quelconque du plan à chacun de ses plus proches voisins (Figure 2B).

30

Le réseau GR est un réseau bidimensionnel. On appelle réseau bidimensionnel (GR) la répétition à volonté (en théorie, à l'infini) d'un motif élémentaire (MO, figure 2D) disposé selon un maillage plan (MP, figure 2E). Le motif élémentaire  
35 conditionne la répartition des intensités des ordres de diffraction du réseau. Un maillage plan peut définir des mailles élémentaires hexagonales, rectangulaires ou carrées. Le maillage lui-même n'est pas visible dans le réseau final GR (Figure 2 F).



On passe du maillage du réseau considéré au maillage des ordres de diffraction appelé maillage réciproque par une transformation (notée T.F. sur les dessins). La maille élémentaire va conditionner le maillage réciproque supportant les ordres diffractés dans le plan  $P_r$ . Physiquement, cette transformation peut s'interpréter de la façon suivante : dans le plan focal intermédiaire  $P_r$ , on obtient la transformée de Fourier spatiale (bidimensionnelle) de l'amplitude complexe de l'onde lumineuse incidente, après traversée du réseau GR.

La figure 3A montre comment on construit un maillage plan MP à partir de ses deux axes A et B. Ces axes ne sont pas nécessairement perpendiculaires l'un à l'autre. La maille élémentaire est répétée avec une périodicité  $a$  le long de l'axe A, et  $b$  le long de l'axe B.

Pour passer au maillage réciproque MR, on construit un axe A' perpendiculaire à A et un axe B' perpendiculaire à B. On considère deux vecteurs de norme  $2\pi/a$  et  $2\pi/b$ , respectivement associés aux axes A' et B'.

Les points du maillage réciproque sont ceux de ce plan qui sont repérés par des vecteurs G définis de la manière suivante :

$$G = A' \cdot m + B' \cdot n$$

où  $m$  et  $n$  sont des entiers, positifs ou négatifs, quelconques.

Une condition intéressante pour la mise en oeuvre de la présente invention est que les maillages retenus fournissent un maillage réciproque supportant trois ordres de diffraction placés suivant les sommets d'un triangle équilatéral dans le plan  $P_r$ . Ceci est illustré sur la figure 3B en OD1 pour le réseau GR1, et sur la figure 3C en OD2 pour le réseau GR2.

Dans le plan de focalisation PF, ou à proximité, on place alors un masque M propre à sélectionner les trois ordres de diffraction désirés, qui doivent être non alignés, de préférence d'intensités semblables et si possible maximales.

5

Il est envisageable d'utiliser un nombre d'ordres de diffraction supérieur à trois, par exemple pour des raisons de rendement lumineux ou de difficultés de réalisation de réseaux spécifiques. Ceci se fera cependant au détriment de la simplicité d'analyse de l'interférogramme et de la facilité de réglage de la sensibilité.

10

Les figures 4 à 4C illustrent le principe de fonctionnement de l'invention selon le montage de la figure 1A.

15

La figure 4A montre les ordres de diffraction  $OD_j$  obtenus dans le plan  $P_i$  avec un réseau à maillage hexagonal. Le masque  $M_j$  est un écran percé de trois trous choisis pour prélever trois ordres de diffraction situés aux sommets d'un triangle équilatéral. Seuls traversent donc le masque les ordres de diffraction illustrés en  $ODM_j$  sur la figure 4B. On obtient alors dans le plan d'analyse PA un système de taches  $T_j$  (figure 4C), qui permet d'obtenir des informations sur les défauts de phase de la surface d'onde, par exemple le défaut  $D_i$  de la figure 1.

20

25

Pour assurer un bon contraste des franges d'interférence dans le plan  $P_a$ , il est souhaitable que les intensités des trois ordres de diffraction sélectionnés par le masque soient à peu près égales.

30

Préférentiellement, on cherchera à translater longitudinalement le plan d'observation  $P_a$  dans une direction telle que le contraste des franges d'interférence soit sensiblement indépendant de la distance  $d$  entre ce plan  $P_a$  et le plan de sensibilité nulle  $P_i$ .

35

Un exemple de masque est illustré sur la figure 5, où le masque  $M_i$  comporte trois orifices  $M_{s1}$ ,  $M_{s2}$  et  $M_{s3}$  en forme de

secteurs de couronnes circulaires régulièrement réparties autour de l'axe central  $M_{50}$ . Au centre de chaque secteur comme  $M_{51}$ , l'ordre de diffraction pour le centre de la bande optique considérée est illustré en  $M_{510}$ .

5

Si l'ordre central  $O_{50}$  est indépendant de la longueur d'onde, la position des autres ordres de diffraction dépend de la longueur d'onde. Ainsi, la figure 5A montre les positions correspondant à  $\lambda_m$  et  $\lambda_M$ , valeurs minimale et maximale de la bande de longueurs d'onde optiques traitées. L'écart  $\delta a$  entre les positions extrêmes des deux taches observées est proportionnel à l'écart  $\delta \lambda$  des longueurs d'onde, avec  $\delta \lambda = \lambda_M - \lambda_m$ .

10

Lorsque la largeur du domaine spectral augmente, les ordres diffractés dans le plan focal intermédiaire  $P_f$  s'étalent. La surface utilisée du masque en transmission augmente avec l'écart des longueurs d'onde. En d'autres termes, c'est au niveau du masque que peut être définie la largeur du domaine spectral d'analyse.

20

Sur la figure 6, entre les secteurs  $M_{51}$ ,  $M_{52}$  et  $M_{53}$ , sont interposés des secteurs réfléchissants respectivement  $M_{61}$ ,  $M_{62}$  et  $M_{63}$ . Le centre  $M_{50}$  est absorbant.

25

Un tel masque peut être utilisé dans le montage illustré sur la figure 7. Dans cette variante, il n'y a pas de lentille de champ  $L_c$ . La lentille  $L_2$  collimate les ordres de diffraction transmis par les secteurs  $M_{51}$  à  $M_{53}$ . Dans la direction perpendiculaire, une autre lentille  $L'_2$  collimate les ordres de diffraction réfléchis par les secteurs  $M_{61}$  à  $M_{63}$ . L'impossibilité ou la difficulté de prévoir une lentille de champ  $L_c$  dans ce montage peut être compensée par un choix convenable des deux lentilles de collimation  $L_2$  et  $L'_2$ . Le montage possède alors deux plans d'analyse  $PA_1$  et  $PA_2$ , qui peuvent être choisis à des distances différentes  $D_1$  et  $D_2$  de leurs plans respectifs de sensibilité nulle  $P_0$  et  $P'_0$ . Les deux interférogrammes ainsi obtenus permettent d'analyser une même surface d'onde selon deux échelles de dynamique indépendantes.

35

Les formes des secteurs illustrés sur la figure 6 sont adaptées pour tenir compte du fait que le masque  $M_6$  est incliné sur l'axe du faisceau incident issu de la lentille  $L_1$ , comme visible sur la figure 7.

5

Ce montage convient bien dans le cas de réseaux hexagonaux, avec une maille élémentaire qui possède une symétrie centrale, car il existe alors six ordres d'égale intensité, qui forment deux triangles équilatéraux regroupés à la manière d'une étoile de David, d'où l'intérêt d'un masque tel que  $M_6$ , réalisé sur une couronne elliptique.

10

La configuration de la figure 7 permet d'enregistrer simultanément deux interférogrammes d'une même surface d'onde.

15

Les réseaux bidimensionnels utilisés dans l'invention peuvent être des réseaux de phase ou des réseaux dits d'intensité.

Les figures 8 présentent quelques exemples de réseaux d'intensité. La figure 8A illustre un réseau GR8A du type de Ronchi croisé à base carrée. La figure 8B illustre un réseau GR8B du type Ronchi croisé à base rectangulaire. La figure 8C illustre un réseau GR8C en nid d'abeilles. Les zones hachurées sur ces figures peuvent être, soit de transmission nulle, soit de transmission unité. La largeur des zones peut être adaptée suivant les besoins, pourvu que l'on ne change pas la taille de la maille.

20

25

Le réseau GR8C fournit une meilleure symétrie pour la sélection de trois ordres placés aux sommets d'un triangle équilatéral.

30

Il est possible d'optimiser le rendement lumineux de ces réseaux, en jouant sur le rapport entre les zones sombres et les zones transparentes. En utilisant un réseau d'intensité en partie réfléchissant et en partie transparent, on peut envisager un système à deux voies.

35

En variante, les réseaux de phase peuvent être utilisés, en particulier des réseaux de micro-lentilles.

5 Cependant, les meilleurs réseaux, selon l'opinion du Demandeur, sont des réseaux de phase à maille élémentaire hexagonale optimisant le transfert de l'énergie lumineuse dans trois ordres de diffraction placés autour de l'ordre zéro et situés aux sommets d'un triangle équilatéral.

10 Ces réseaux sont réalisés en matériaux transparents ou réfléchissants, aux longueurs d'onde d'analyse, et formés de trièdres à symétrie ternaire, situés aux centres des mailles élémentaires hexagonales, et orientés de façon que les arêtes interceptent les sommets des mailles élémentaires. Un trièdre  
15 constitue le motif élémentaire d'un tel réseau.

Pour que le rendement soit réellement optimal, la surface du motif élémentaire doit être, si possible, égale à la surface de la maille élémentaire, ce qui est réalisé avec la configuration  
20 présentée figure 9A pour un trièdre centré sur une maille élémentaire. Le réseau ainsi réalisé est non lacunaire et les faces du trièdre sont des losanges de mêmes dimensions (91, 92, 93).

25 L'inclinaison de ces losanges par rapport au plan du réseau est calculée pour renforcer les trois ordres de diffraction placés autour de l'ordre zéro et situés aux sommets d'un triangle équilatéral. Cette inclinaison "mécanique" est calculée en fonction de l'indice de réfraction du matériau  
30 dans lequel est fabriqué le réseau, du pas du maillage et du domaine de longueurs d'onde dans lequel s'effectue l'analyse.

L'inclinaison optimale des losanges par rapport au plan du réseau étant faible, la réalisation de tels réseaux est  
35 délicate.

Un moyen particulièrement avantageux pour la réalisation de ce type de réseau est décrit dans le Brevet français FR-A-2 665 955 du Demandeur. Il opère par contre-collage de

résines d'indices proches et permet ainsi d'augmenter l'inclinaison mécanique (à caractéristiques désirées égales).

5 Les premiers travaux du Demandeur sur ce nouveau réseau ont montré qu'il permet d'obtenir un rendement lumineux de l'ordre de 50 % en lumière monochromatique, dans le montage de la figure 1.

10 Par ailleurs, le système de franges enregistré dans le plan analyse est achromatique, sous réserve que le défaut de différence de marche à détecter ne dépende pas de la longueur d'ondes d'étude.

On se réfère aux figures 10A et 10B.

15

On considère par exemple le maillage élémentaire de motif hexagonal régulier et de pas  $a$  (figure 10A).

20

L'interférogramme obtenu dans le plan  $P_a$  est également supporté par un maillage bidimensionnel. L'interférogramme est constitué de taches lumineuses (figure 10B, en haut) dont l'intensité est sinusoïdale, le long de l'un des axes des taches (figure 10B, en bas). L'espacement  $d$  entre deux franges blanches, c'est-à-dire deux maxima d'interférence est

25

lié à l'angle  $\alpha$  entre deux ondes par la relation :

$$d = a/\lambda$$

30

Or, pour un réseau bidimensionnel de même pas dans les deux directions, l'angle entre les ondes se déduit de la connaissance du pas  $a$  du réseau et de la longueur d'onde d'étude  $\lambda$  par la relation :

$$\alpha = \lambda/a$$

35

Le rapprochement entre ces deux relations montre que l'espacement entre les franges est indépendant de la longueur d'onde, et égal au pas du réseau dans la direction considérée.

C'est pourquoi l'interférogramme obtenu selon l'invention est achromatique.

5 Dans la Demande de brevet EP-A-0538126, on a également proposé une technique d'analyse des images d'interférence obtenues, afin d'accéder aux gradients des défauts de phase de la surface d'onde, puis aux courbures locales de celle-ci, et même à une estimation de l'erreur sur les mesures effectuées. Ces techniques sont directement applicables au système de  
10 franges d'interférences obtenues selon la présente invention.

Les montages interférométriques selon l'invention, proposés ici pour l'analyse de la surface d'onde lumineuse présentent les avantages suivants :

15

- ils fonctionnent en lumière polychromatique,
- leur sensibilité est continûment réglable à partir de zéro, en ajustant la distance entre le plan d'analyse et le plan  
20 dit "de sensibilité nulle", et ce éventuellement sur plusieurs voies,
- l'intensité lumineuse des franges d'interférence obtenues est d'allure sinusoïdale dans plusieurs directions. Il est  
25 donc facile d'échantillonner les figures d'interférences, aux fins d'automatiser l'analyse,
- le rendement lumineux est amélioré, par les différents moyens proposés pour l'optimisation des réseaux, et en  
30 particulier avec le nouveau type de réseau ici proposé,
- enfin, l'erreur sur la mesure peut être estimée à partir de la mesure elle-même.

35

## REVENDICATIONS

1. Procédé pour l'analyse de la surface d'onde d'un faisceau de lumière, dans lequel:

5

a) on place un réseau de diffraction (GR) à maillage bi-dimensionnel dans un ( $P_c$ ) plan perpendiculaire au faisceau, optiquement conjugué du plan d'analyse de la surface d'onde ( $P_s$ ), ce qui provoque une diffraction du faisceau en différents sous-faisceaux, dûs aux différents ordres de diffraction, et

10

b) on crée et on observe dans un plan ( $P_a$ ) l'image formée par l'interférence des sous-faisceaux, image dont les déformations sont liées aux gradients de la surface d'onde analysée,

15

caractérisé en ce que l'opération b) comprend:

b1) la focalisation conjointe des sous-faisceaux issus du plan du réseau, en un plan focal intermédiaire ( $P_f$ ),

20

b2) au voisinage de ce plan focal, le filtrage des sous-faisceaux par un masque (M) propre à y sélectionner au moins trois ordres de diffraction distincts,

25

b3) la reprise optique des sous-faisceaux sélectionnés, pour les amener à un plan ( $P_0$ ), dit de sensibilité nulle, conjugué du plan du réseau, et

b4) l'observation de l'image d'interférence dans un plan de travail ( $P_a$ ), situé à distance choisie (d) du plan de sensibilité nulle.

30

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'à l'opération b2), le masque (M) est agencé pour extraire au moins trois sous-faisceaux possédant des intensités semblables, et des impacts non alignés dans le plan focal intermédiaire.

35

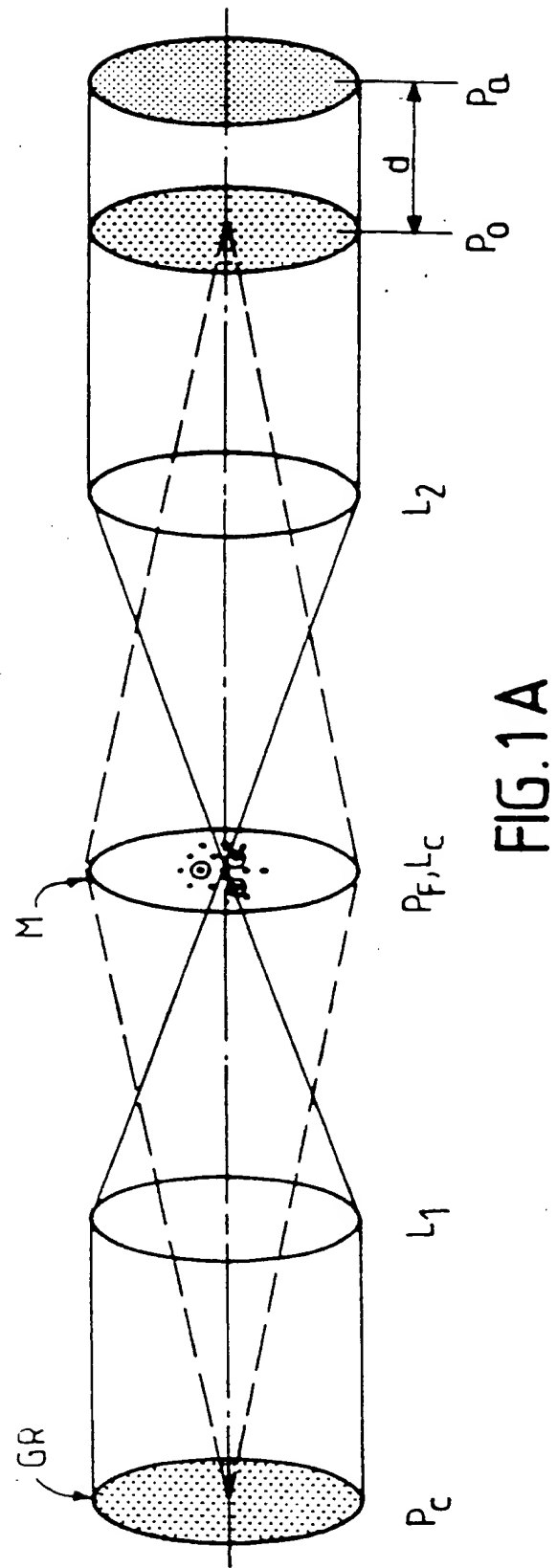
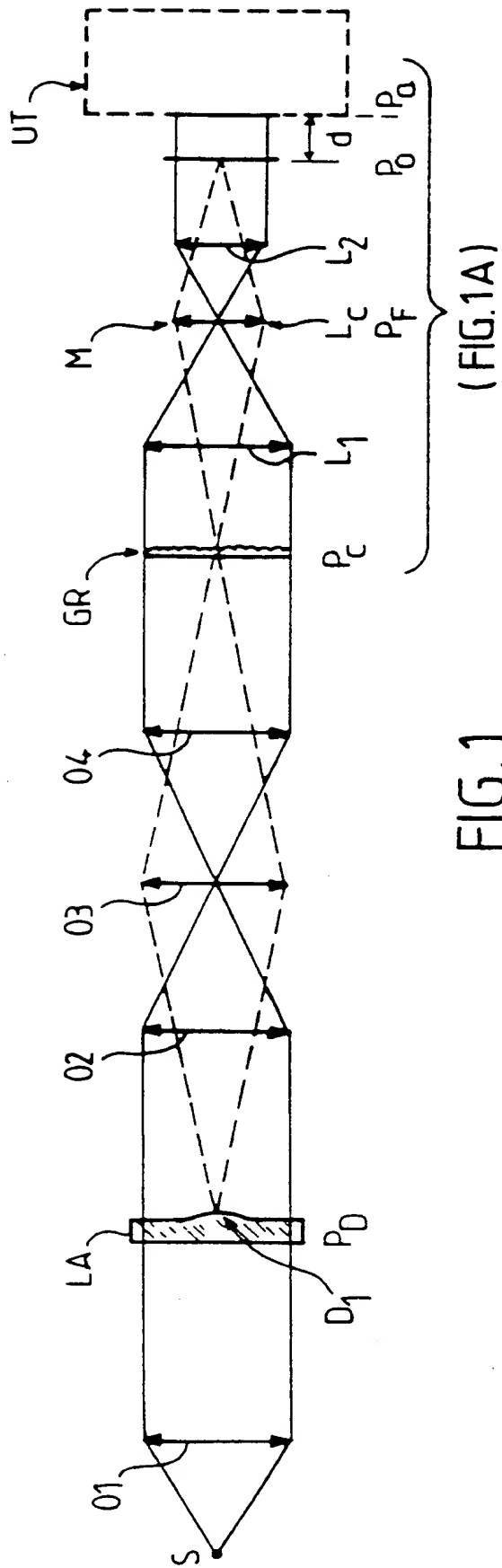


3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le masque (M) est agencé pour extraire au moins trois sous-faisceaux possédant des impacts placés aux sommets d'un triangle équilatéral dans le plan focal intermédiaire.
- 5
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réseau (GR1) présente une maille élémentaire hexagonale et un motif (GR8C) tels que le maillage réciproque supporte trois ordres de diffraction placés aux sommets d'un triangle équilatéral et d'intensité proches (OD1).
- 10
5. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le réseau (GR2) présente une maille élémentaire rectangulaire et un motif (GR8B), tels que le maillage réciproque supporte trois ordres de diffraction placés aux sommets d'un triangle équilatéral et d'intensités proches (OD2).
- 15
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le masque de filtrage au plan focal possède au moins trois zones transparentes (M51-M53) formant un groupe d'éléments transparents.
- 20
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le masque de filtrage au plan focal possède au moins trois zones réfléchissantes (M61-M63) formant un groupe d'éléments réfléchissants.
- 25
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le masque de filtrage au plan focal possède un groupe d'éléments transparents (M51-M53) et un groupe d'éléments réfléchissants (M61-M63).
- 30
9. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le groupe d'éléments transparents du masque (M51-M53), placé perpendiculairement à l'axe du faisceau, est constitué de trois secteurs d'une couronne circulaire, dont les angles d'ouverture sont d'environ 60°, et les étendues radiales sont choisies en fonction du domaine spectral d'analyse du faisceau de lumière.
- 35

10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le masque de filtrage, placé en oblique sur l'axe du faisceau, possède, sur une même couronne elliptique, des secteurs transparents (M51-M53) alternant avec des secteurs réfléchissants (M61-M63), et en ce que les opérations b3) et b4) sont conduites séparément pour les sous-faisceaux réfléchis ( $L'2, P'_3, P_{a2}$ ) et transmis ( $L2, P_0, P_{a1}$ ) par le masque.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le réseau (GR) est du type réseau de phase, et constitué de micro-lentilles.
12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le réseau (GR), du type réseau d'intensité, est constituée de régions alternativement transparentes et non transparentes pour la lumière (GR8A, GR8B, GR8C).
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le réseau est un réseau (GR9) de trièdres, arrangé selon une maille élémentaire hexagonale.
14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que le motif (GR90) du maillage bi-dimensionnel (GR9) comprend trois surfaces d'égale inclinaison sur une base plane, agencées selon une symétrie d'ordre 3 autour d'un même axe, et en ce que l'inclinaison de ces surfaces est choisie en fonction du pas du réseau.
15. Procédé selon la revendication 14, caractérisé en ce que les trois surfaces (91-93) sont des losanges et en ce que le réseau est non-lacunaire.
16. Dispositif pour l'analyse de la surface d'onde d'un faisceau de lumière, comprenant:
- une optique d'entrée ( $O_2, O_4$ ), pour définir un plan de référence ( $P_c$ ), optiquement conjugué du plan dans lequel est analysée la surface d'onde ( $P_0$ ),

- un réseau à maillage bi-dimensionnel (GR), placé dans ce plan de référence ( $P_c$ ), perpendiculairement au faisceau, ce qui provoque une diffraction du faisceau en différents sous-faisceaux, dûs aux différents ordres de diffraction, et
  - des moyens de traitement optique et d'observation de l'image formée par l'interférence des sous-faisceaux, image dont les déformations sont liées aux gradients de la surface d'onde analysée,
- caractérisé en ce que les moyens de traitement optique et d'observation comprennent:
- une première optique ( $L_1$ ), pour focaliser conjointement les sous-faisceaux issus du plan du réseau, en un plan focal intermédiaire ( $P_f$ ),
  - dans ce plan focal ( $P_f$ ) ou à proximité, un masque (M) propre à sélectionner parmi les sous-faisceaux, ceux qui proviennent d'au moins trois ordres de diffraction distincts,
  - une seconde optique ( $L_2$ ), pour amener les sous-faisceaux sélectionnés à un plan ( $P_0$ ), dit de sensibilité nulle, conjugué du plan du réseau, et
  - des moyens d'observation de l'image d'interférence dans un plan de travail ( $P_a$ ), situé à distance choisie ( $d$ ) du plan de sensibilité nulle.

1/8



2/8

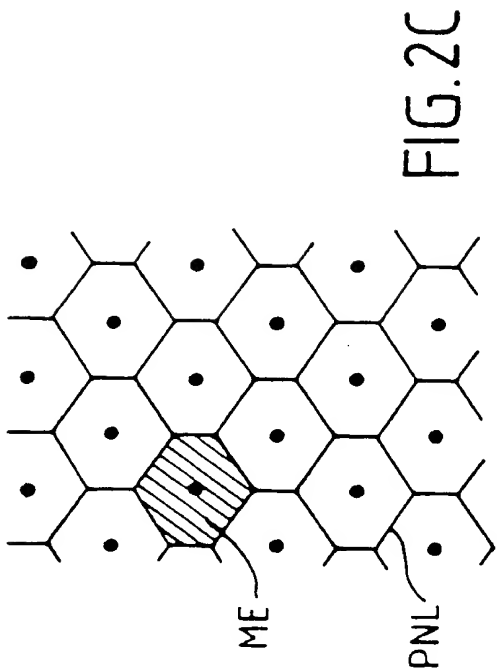


FIG. 2C

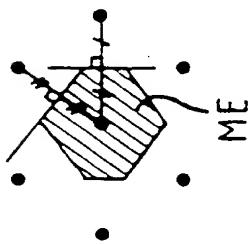


FIG. 2B

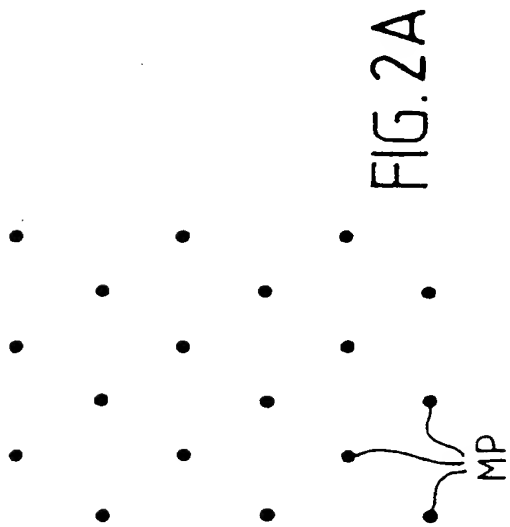


FIG. 2A

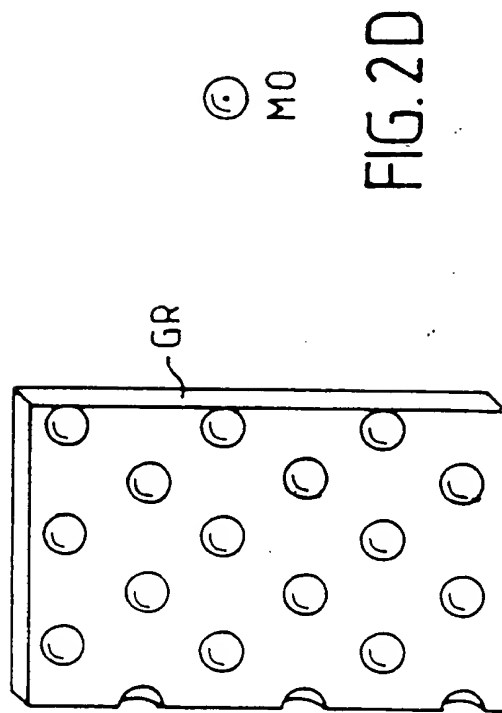


FIG. 2D

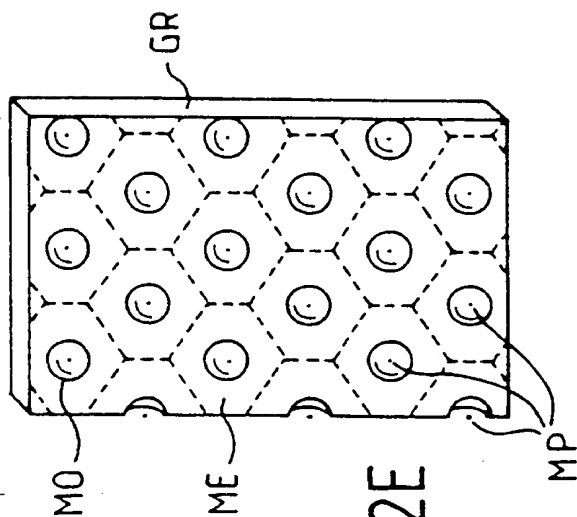


FIG. 2E

FIG. 2F

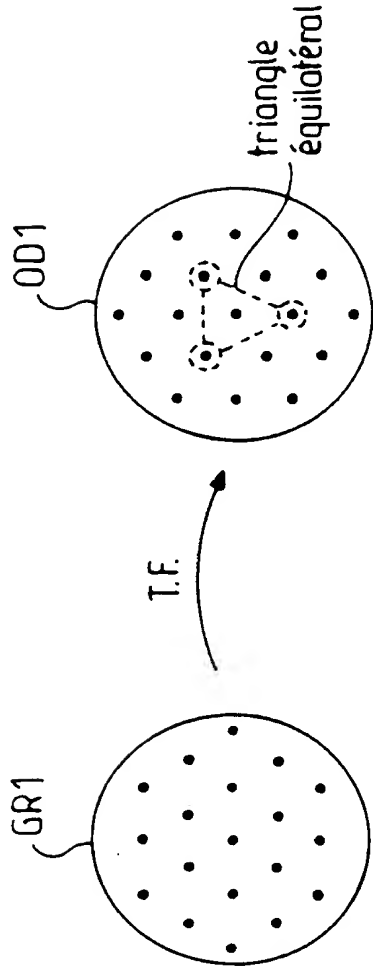
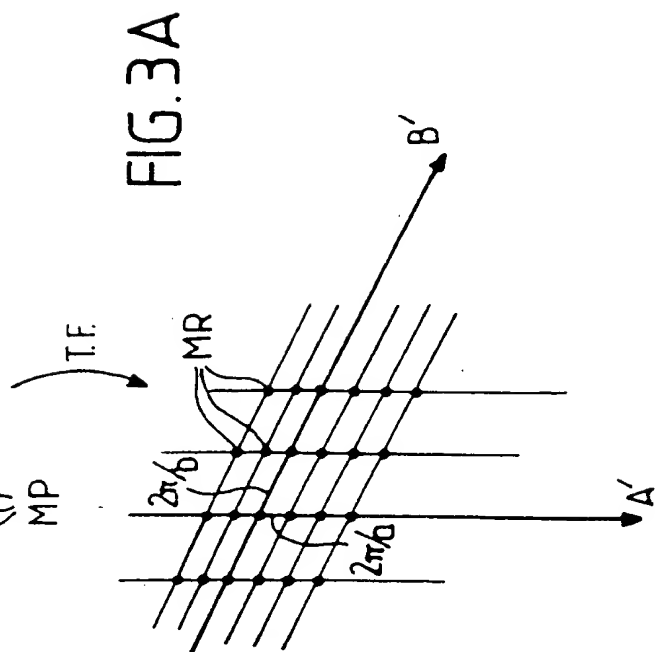
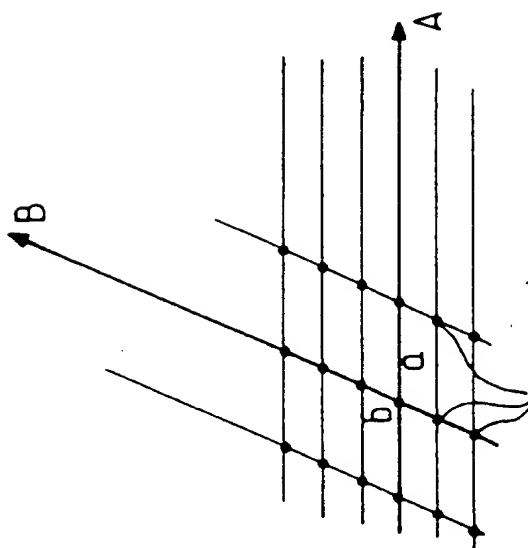


FIG. 3B

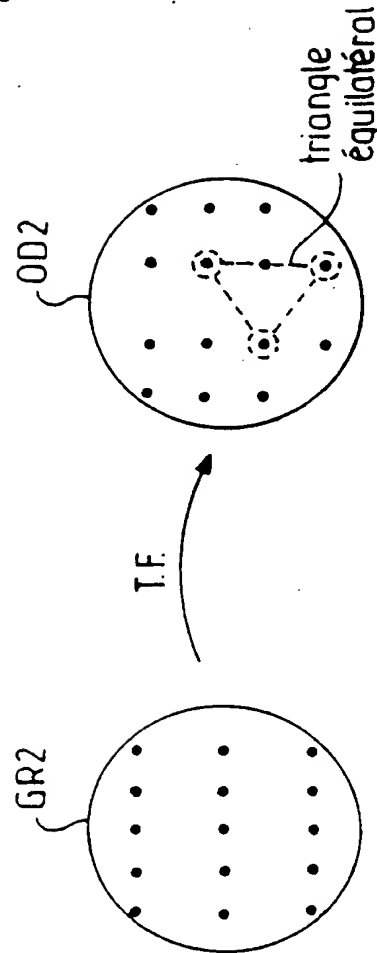


FIG. 3C

triangle  
équilatéral

triangle  
équilatéral

4/8

FIG. 4A

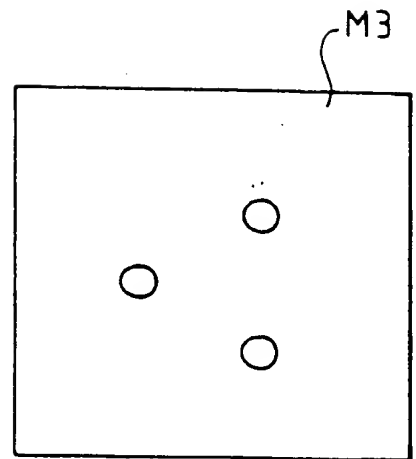
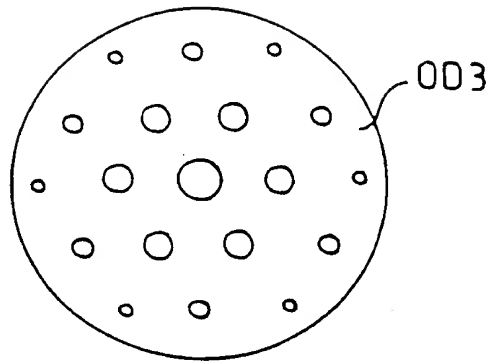


FIG. 4B

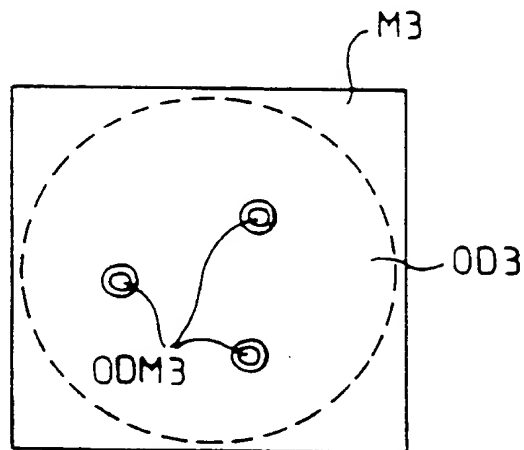
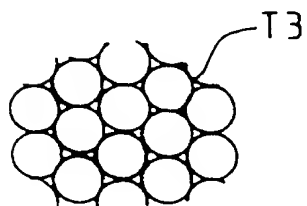


FIG. 4C



5/8

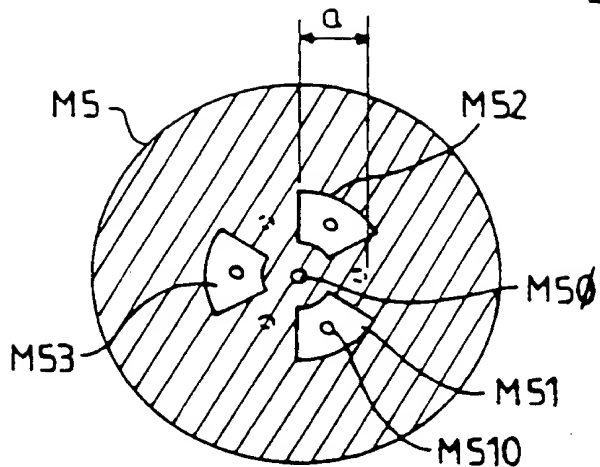


FIG. 5

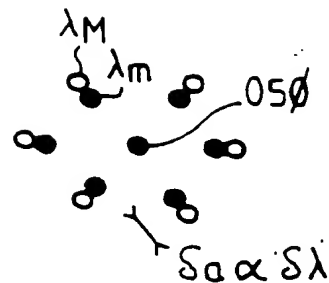


FIG. 5A

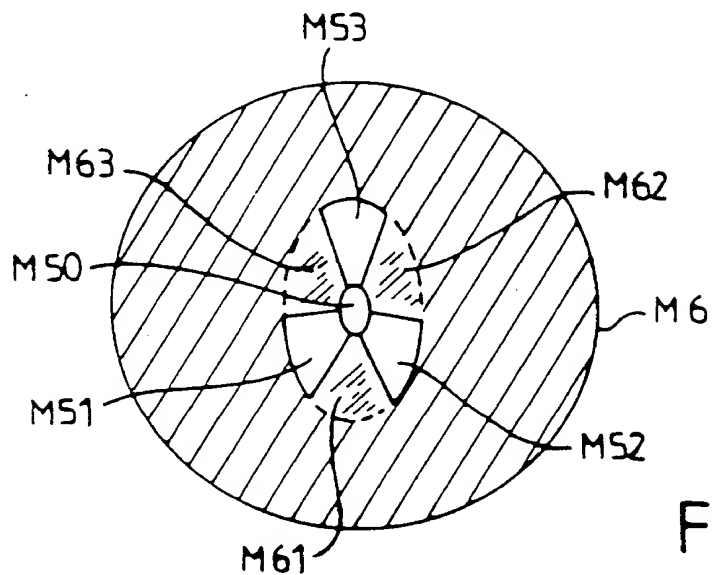


FIG. 6

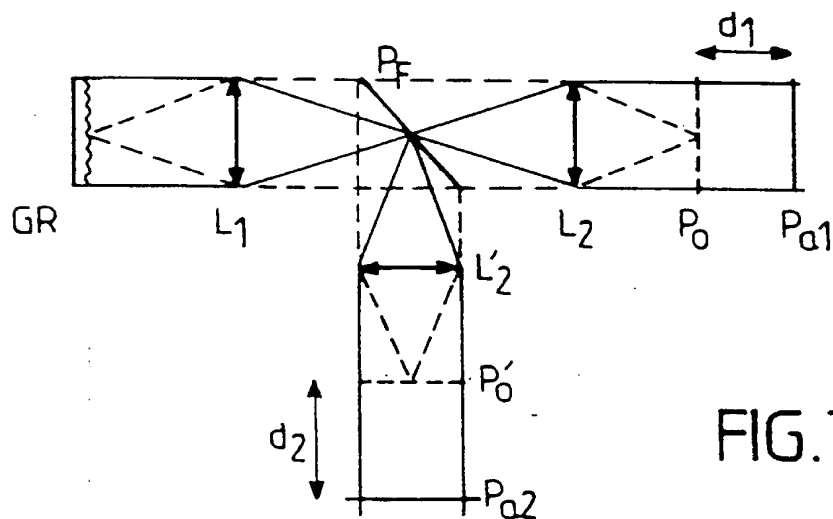


FIG. 7



6/8

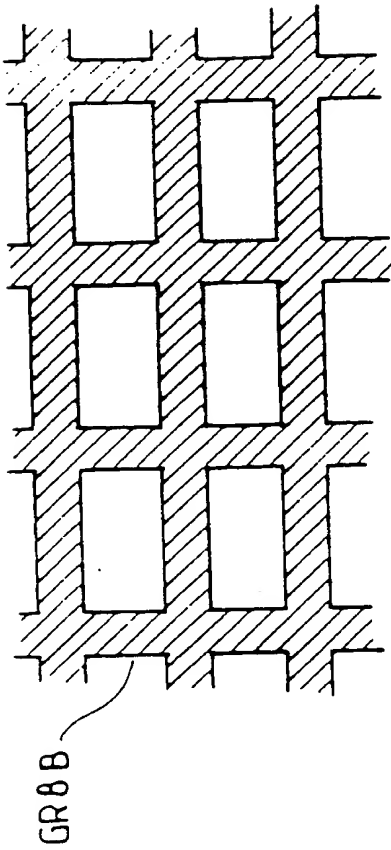


FIG. 8B

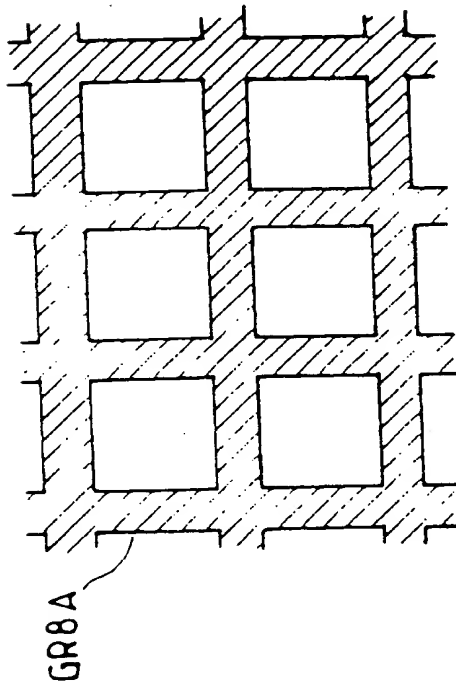


FIG. 8A

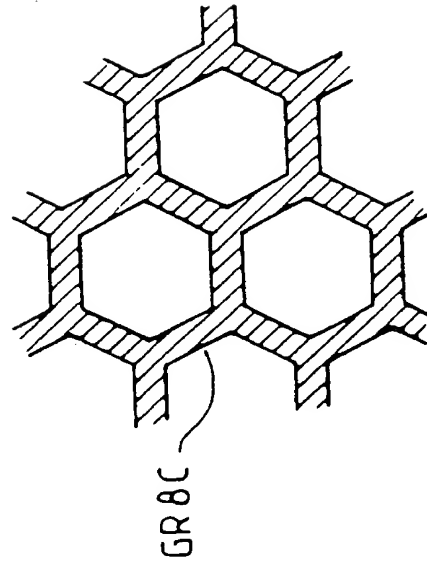
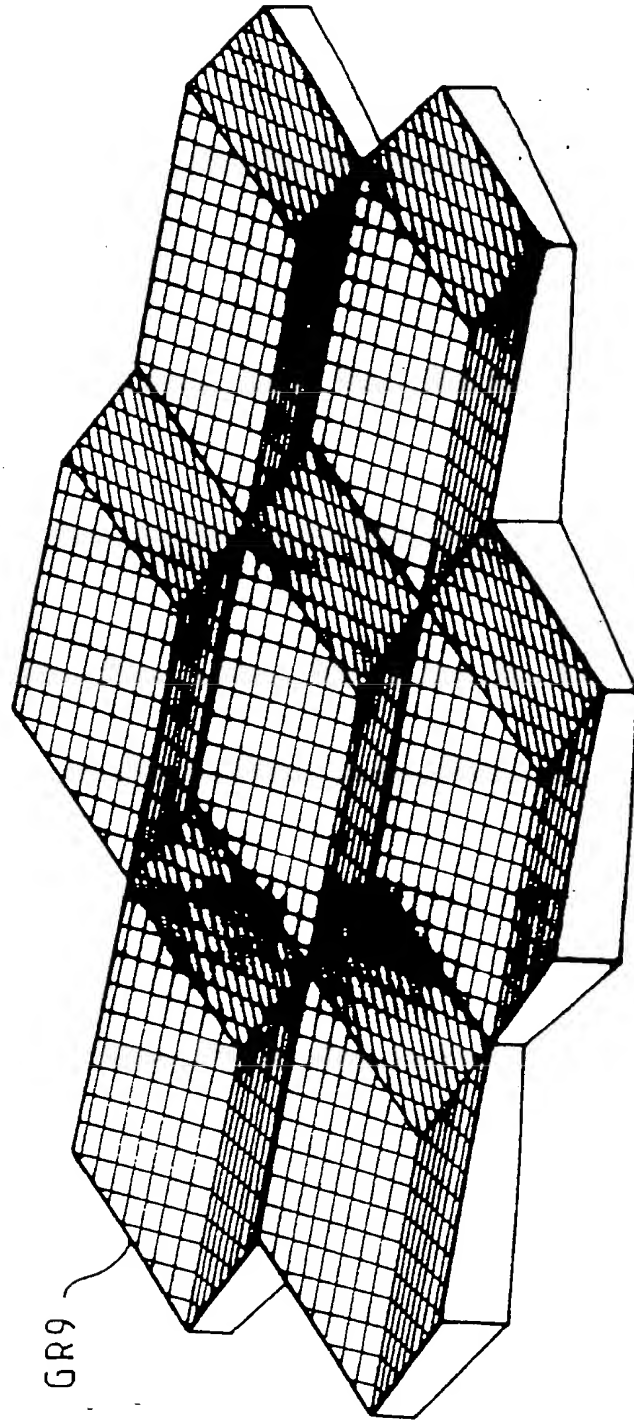
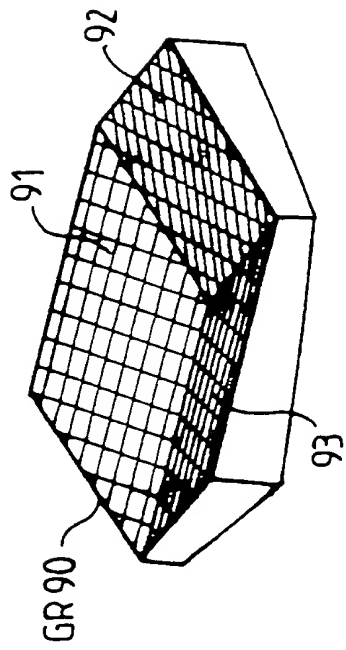


FIG. 8C



8/8

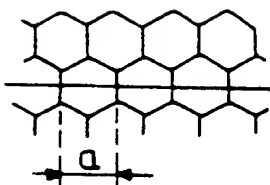


FIG.10A

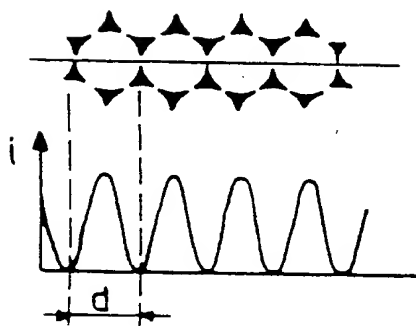


FIG.10 B

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheFA 494557  
FR 9314063

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	APPLIED OPTICS., vol.32, no.31, 1 Novembre 1993, NEW YORK US pages 6242 - 6249 J.PRIMOT 'Three-wave lateral shearing interferometer' * page 6242, colonne de gauche, dernier alinéa - colonne de droite, alinéa 3 * * page 6246 - page 6248, colonne de droite, dernier alinéa ; figures 5,7 *	1,16
D,A	EP-A-0 538 126 (ONERA) * le document en entier *	1,16
A	DD-A-213 057 (VEB CARL ZEISS JENA) * le document en entier *	1,16
A	OPTICAL ENGINEERING, vol.29, no.10, Octobre 1990, BELLINGHAM US pages 1239 - 1242 F.RODDIER 'Variations on a Hartmann theme' * le document en entier *	1,16
A	US-A-4 518 854 (R.A.HUTCHIN) * le document en entier *	1,16
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)
		G01J G01M
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
10 Août 1994		Scheu, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		